

УДК 656.2

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ  
ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА ОСНОВІ ОБЛІКУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ  
НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

Канд. техн. наук А.В. Прохорченко, О.М. Воленюк

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ УЧЕТА  
ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ПЕРЕВОЗОК**

Канд. техн. наук А.В. Прохорченко, О.М. Воленюк

**IMPROVED METHOD OF CALCULATION RAILWAY INFRASTRUCTURE CAPACITY BASED  
ACCOUNT OPERATIONAL RELIABILITY OF TRANSPORTATION**

Cand. of techn. sciences Andrii Prokhorchenko, Oksana Volenyuk

*В роботі запропоновано удосконалити методику розрахунку пропускної спроможності залізничної інфраструктури за рахунок обліку експлуатаційної надійності системи перевезень. Відповідно до проведеного аналізу процесу виконання нормативного графіка руху поїздів в умовах реальної експлуатації в роботі запропоновано статистично оцінити експлуатаційну надійність роботи дільниці за допомогою застосування методу імітаційного моделювання виконання графіка руху поїздів за різними варіантами відмов.*

**Ключові слова:** пропускна спроможність, залізнична дільниця, надійність, графік руху поїздів.

*В работе предложено усовершенствовать методику расчета пропускной способности железнодорожной инфраструктуры за счет учета эксплуатационной надежности системы перевозок. Согласно проведенному анализу процесса выполнения нормативного графика движения поездов в условиях реальной эксплуатации в работе предложено статистически оценить эксплуатационную надежность работы участка посредством применения метода имитационного моделирования выполнения графика движения поездов по различным вариантам отказов.*

**Ключевые слова:** пропускная способность, железнодорожный участок, надежность, график движения поездов.

*The paper presents a method to improve the calculation of railway infrastructure capacity by taking into account the operational safety of the transportation system. According to the analysis process execution schedule regulatory Train in a real operation in the proposed statistically evaluate the operational reliability of the station through the use of simulation modeling method implementation schedule of trains on different variants of failures. To evaluate the operational reliability of the proposed station of the transient availability factor system. According to the simulation results in regulatory delays trains schedules on Kolosivka station - Odessa-Sort. found exponential dependence of unsteady availability factor of the number of detainees trains. Locate a function depending proposed to use in the analytical determination of the coefficient of readiness, which in turn should be taken into account when calculating the practical capacity of the site. The method of calculation of railway infrastructure capacity will improve the accuracy of the maximum capacity at the station, which in turn will allow the district to avoid overload and additional losses with increasing delay trains.*

**Keywords:** capacity, railway station, reliability, train schedule.

**Вступ.** Аналіз методики розрахунку наявної пропускної спроможності на залізницях України довів недосконалість існуючого

підходу з причин завищення значень максимальної пропускної спроможності [1,2]. Це спричинено відсутністю в аналітичних

формулах обліку надійності виконання технології організації перевізного процесу на розрахунковій дільниці. Для визначення більш наближеного до реальних експлуатаційних умов роботи значення величини пропускної спроможності необхідним є застосування додаткового поняття – практична пропускна спроможність (англ., Practical Capacity, PC) [3]. Згідно з міжнародним стандартом UIC 406 R у межах даного поняття можливо сформулювати підхід до визначення максимальної кількості поїздів на дільниці за умови прийняттого рівня експлуатаційної надійності системи перевезень.

Згідно з [4] під надійністю розуміється властивість системи зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих умовах роботи. Якщо розглянути залізничну дільницю як систему, то її основною функцією є пропускання поїздопотоків у відповідності до встановленої точності виконання графіка руху поїздів протягом заданого інтервалу часу (доба) [5,6]. Приймаючи до уваги, що надійність є комплексною властивістю доцільно розглянути деталізуючу властивість безвідмовності, що визначається набором показників, які обирають з урахуванням умов експлуатації.

При дослідженні показників безвідмовної роботи системи необхідним є визначення поняття відмови. Враховуючи, що параметром, який задовольняє умови функціонування дільниці, є встановлений показник відхилення реального графіка проходження поїздів через дільницю від нормативного, то під відмовою слід розуміти затримку поїзда з прибуття або відправлення на кожній із станцій на дільниці. За природою виникнення відмов можна виділити відмови, спричинені технічними засобами інфраструктури, та відмови, які виникають з організаційно-технологічних причин [7,8], таких як затримки поїздів з причин помилкових дій диспетчерського персоналу, відсутність колій приймання для поїздів на станції, збоїв у проходженні поїздів через дільницю в умовах виникнення так званого “ефекту доміно” в поїздопотоці при значному завантаженні дільниці тощо [9, 10].

**Визначення мети та задачі дослідження.** Приймаючи до уваги, що при визначенні пропускної спроможності по суті враховується лише технічна надійність, тобто збоїв в роботі дільниці з причин несправностей

постійних технічних пристроїв інфраструктури (колій, пристроїв СЦБ і зв'язку, електропостачання) та рухомого складу (локомотиви, вагони) [1], то запропоновано вдосконалити методику розрахунку за рахунок обліку експлуатаційної надійності, яка дозволить врахувати збої, пов'язані з організаційно-технологічними причинами.

### Основна частина дослідження.

Відповідно до процесу реалізації графіка руху затримки поїздів на дільниці поділяються на первинні (англ., primary delays), які є екзогенними, та вторинні затримки (англ., secondary delays), які виникають з причин первинної затримки першого поїзда та послідовного порушення розкладу руху інших поїздів, які опинилися в зоні прямування затриманого поїзда [11]. Кількість, тривалість та послідовність вторинних затримок залежить від пріоритетності ниток поїздів, насиченості графіка руху та розташування поїздів різних категорій по відношенню один до одного. На рис. 1 наведено схему прокладення ниток поїздів на одноколіній дільниці при виникненні первинної та вторинних затримок.

Описаний вище процес послідовних затримок на дільниці є не оргадичним, тобто кожна реалізація випадкового процесу відмови в системі є не однорідною. За таких умов дослідження надійності системи за допомогою аналітичних рішень є неефективними через свою надмірну складність. Виходячи з цього, в роботі запропоновано статистично оцінити експлуатаційну надійність роботи дільниці за допомогою застосування методу імітаційного моделювання роботи дільниці за різними варіантами відмов. Як показник оцінки експлуатаційної надійності роботи дільниці запропоновано використати нестационарний коефіцієнт готовності системи, який характеризує ймовірність того, що в момент часу  $t$  система опиниться в працездатному (безвідмовному) стані [7]. Статистично розрахунок даної ймовірності можна визначити за виразом

$$K(t) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^k t_{m_i}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^k t_{m_i} + \sum_{i=1}^N t_{z_i}},$$

де  $\sum_{j=1}^k t_{m_i}$  – тривалість зупинки  $i$ -го поїзда за

нормативним графіком руху, год;  $t_{z_i}$  – запізнення поїзда у зв'язку з організаційно-технологічними причинами, на кожній зі

станцій дільниці  $j = 1, k$ , год;  $N$  – кількість поїздів на дільниці. Оскільки пропускна спроможність на дільниці визначається за добовий період, то і коефіцієнт готовності необхідно визначати в розрахунку на добу.

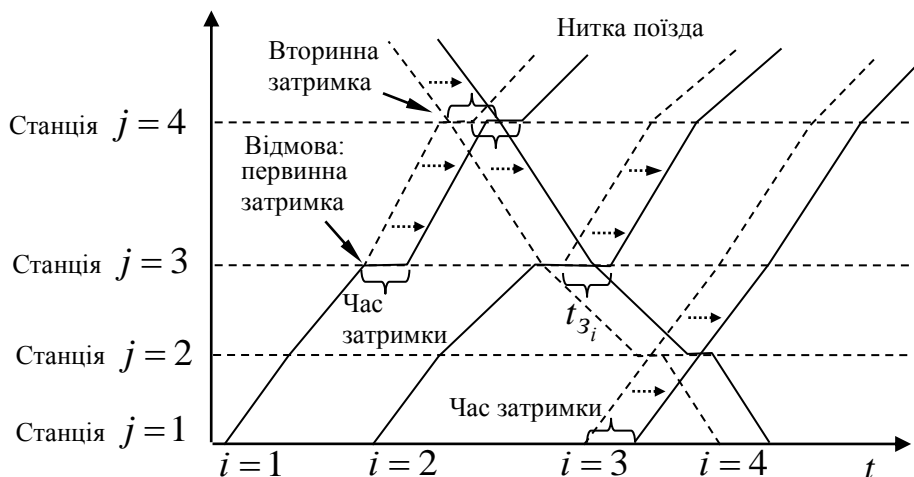


Рис. 1. Схема прокладки ниток поїздів на одноколінійній дільниці при виникненні первинної та вторинних затримок

Для імітаційного моделювання роботи дільниці за різними варіантами відмов у роботі запропоновано використати математичну модель побудови графіка руху поїздів. Для моделювання відмов запропоновано первинні затримки генерувати за допомогою найпростішого (пуасонівського) закону розподілу з параметром потоку відмов  $\lambda$ . Відповідно до кожної відмови час затримки (відновлення руху поїзда) запропоновано моделювати експоненціальним законом розподілу з інтенсивністю відновлення  $\mu = \frac{1}{t_e}$ ,

$t_e$  – середній час відновлення (затримки). Для пошуку залежності надійності виконання графіку руху поїздів від інтенсивності відмов у роботі проведено імітаційне моделювання роботи дільниці Колосівка – Одеса-Сортувальна за різними варіантами відмов. При розрахунках були використані реальні обсяги перевезень на дільниці – 151 пара поїздів, з яких 15 пасажирських, 12 приміських та 2 збірних поїзди. На рис. 2 наведено фрагмент

графіка руху поїздів при моделюванні затримок на дільниці Колосівка – Одеса-Сортувальна.

Згідно з результатами моделювання затримок поїздів у нормативному графіку руху на дільниці Колосівка – Одеса-Сортувальна було знайдено експоненціальну залежність нестационарного коефіцієнта готовності від кількості затриманих поїздів (рис. 3). Знайдену функцію залежності можна використати при аналітичному визначенні коефіцієнта готовності, який у свою чергу має бути врахований при розрахунку практичної пропускної спроможності дільниці.

**Висновки з дослідження.** Запропонована методика розрахунку пропускної спроможності залізничної інфраструктури на основі обліку експлуатаційної надійності системи перевезень дозволить підвищити точність визначення максимальної пропускної спроможності на дільниці, що у свою чергу надасть можливість уникнути перевантаження дільниці та додаткових збитків при збільшенні затримок поїздів.

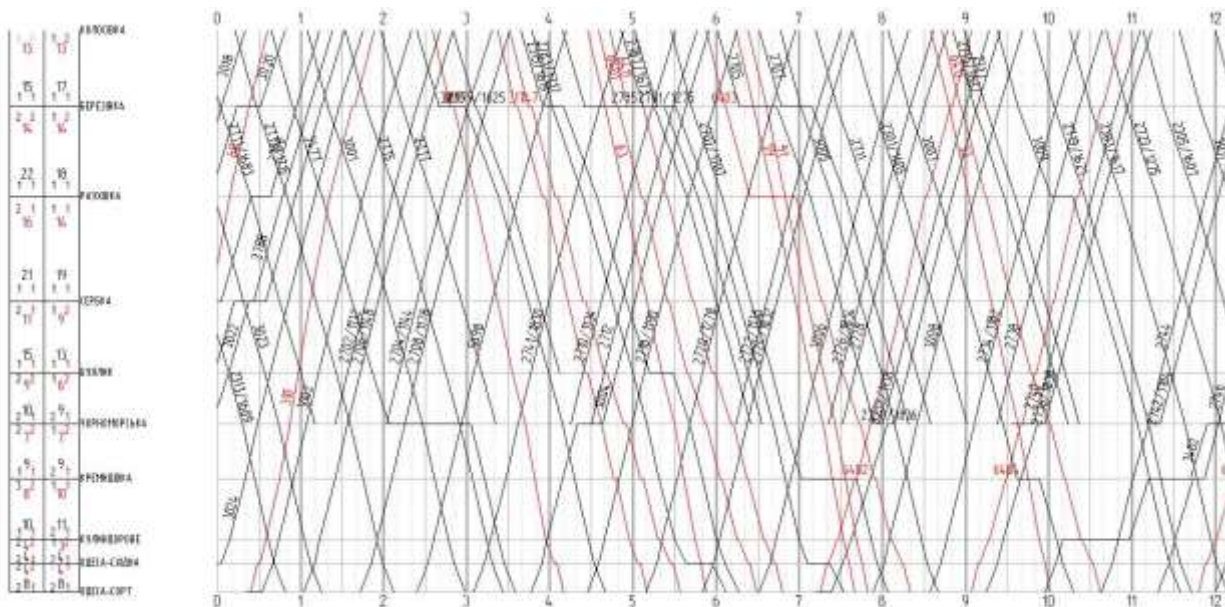


Рис. 2. Фрагмент графіка руху поїздів на дільниці Колосівка – Одеса-Сортувальна при моделюванні 10 затримок на дільниці

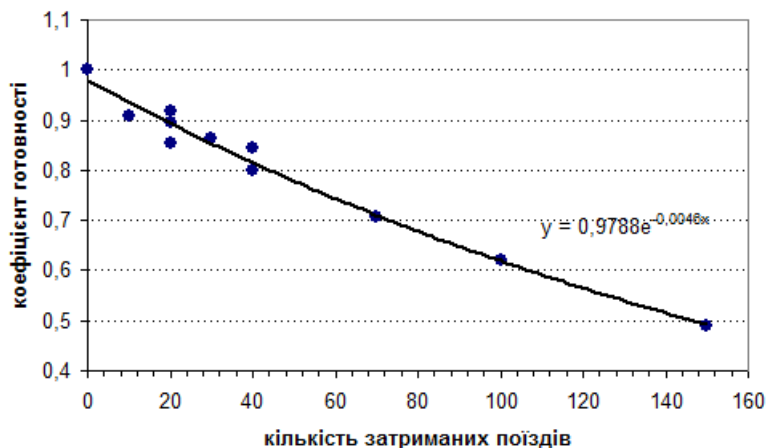


Рис. 3. Залежність нестационарного коефіцієнта готовності від кількості затриманих поїздів на дільниці Колосівка – Одеса-Сортувальна

**Список використаних джерел**

1. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України, затв. Наказом Укрзалізниці від 14.03.01 р. № 143/Ц (ЦД-0036) [Текст]. – К.: Транспорт України, 2001. – С. 159.
2. Прохорченко, А.В. Концептуальні підходи до управління пропускною спроможністю залізничної інфраструктури в умовах конкуренції на ринку перевезень [Текст] / А.В. Прохорченко // Залізничний транспорт України. – 2013. – Вип. 3/4. – С. 63-65.
3. UIC leaflet 406 R, Capacity. UIC International Union of Railways, France, 2e édition. – Version traduite. List of recent publications, 2013 – 60 p.
4. Надійність техніки. Терміни та визначення [Текст]: ДСТУ 2860-94. – [Чинний від 01.01.1996]. – К.: Держстандарт України, 1994. – 33 с. – (Національний стандарт України).

5. IEEE Std 493-1990: IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems.
6. Vromans, M.J.C.M. Reliability of Railway Systems / The Erasmus Research Institute of Management (ERIM). – 2005. – 245 p.
7. Грунтов, П.С. Эксплуатационная надежность станций [Текст] / П.С. Грунтов. – М.: Транспорт, 1986. – 247 с.
8. Каретников, А.Д. График движения поездов [Текст] / А.Д. Каретников, Н.А. Воробьев. – М.: Транспорт, 1979. – 301 с.
9. Rob M.P. Goverde A delay propagation algorithm for large-scale railway traffic networks / Rob M.P. Goverde // 11th IFAC Symposium: The Role of Control. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2010. – Volume 18, Issue 3. – P. 269–287.
10. Modeling Uncertainty in Rail Freight Operations: Implications for Service Reliability / Vishnu Charan Arcot. – ProQuest, 2007 – 134 p.
11. Abril, M. An assessment of railway capacity / M. Abril, F. Barber, L. Ingolotti, M. A. Salido, P. Tormos, A. Lova // Transportation Research Part, 2008 – 44. – P. 774-806.

Рецензент д-р техн. наук, професор О.В. Лаврухін

---

Прохорченко Андрій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра управління експлуатаційною роботою, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-88. E-mail: railwayhub@yandex.ua.

Воленюк Оксана, магістр, Інститут перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-88. E-mail: uermp@kart.edu.ua.

Prokhorchenko Andrii, Cand. of techn. sciences, Associate Professor, Department of Management of operational work, Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-88. E-mail: railwayhub@yandex.ua.

Oksana Volenyuk, master, Institute of retraining and advanced training of Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-88. E-mail: uermp@kart.edu.ua.